

工場跡地の油汚染土対策に HSS 工法を用いた施工事例

A Case Study of Cleaning of Oil-Contaminated Soil on a Former Factory Site using the HSS Method

宮 沢 義 博*¹ 和 田 幸 二 郎*² 伊 藤 良 治*³
Yoshihiro Miyazawa Koujiro Wada Yoshiharu Itoh

【要旨】

自動車修理工場跡地の宅地造成地内で油汚染が確認されたため、油汚染対策技術の選定を行い、重金属不溶化やコスト、工期の面で優位性を有する HSS 工法を採用することとした。

当該地では油汚染以外に、土壤環境基準以下のふっ素とほう素の溶出量が検出されたが、HSS 工法による浄化により、ふっ素は検出値の平均で 40%以下、ほう素は定量下限値以下となった。

その結果、施工後の確認試験によって、油臭・油膜が検出されないこと、油含有量および特定有害物質濃度が基準値を下回っていること、発注者が指定する N 値 4 以上の地盤性能を確保していることが確認できた。

本稿では、油汚染土対策工法の選定、実施方法および対策効果について報告する。

【キーワード】 HSS 工法 地盤改良 鉱物油 油汚染 工場跡地

1. はじめに

自動車修理工場跡地の宅地造成地内で発注者が土壤調査を行ったところ、油臭、油膜および基準値以下のふっ素・ほう素の溶出が確認された。原位置での油汚染対策を行う場合、油対策薬剤を土壤と混合するため地盤を軟弱化する可能性があることから地盤改良効果も必要とされていた。

土地改変の届出において、油汚染や汚染状態に関する重金属溶出量が基準値以下である場合は、土壤汚染対策法の指定の対象外であるが、住宅地での油臭による生活環境悪化や重金属が近隣へ拡散するリスクの低減を目的として、HSS 工法を採用することとした。

本稿では、対策工法の選定、現場施工および対策効果について報告する。

2. 敷地概要

当該敷地は幹線道路に面し、近隣には住宅地、農地があり、敷地南側の道路との境界には用水路がある。用水路は、農業用水として利用されていた。

敷地は用水路側に傾斜しているため、用水路側に地下水が流れ、油や有害物質によって用水路の公共水が汚染される可能性があった。

工期および敷地の状況は以下のとおりである。

- ・工期：平成 25 年 9 月 11 日～平成 25 年 12 月 25 日
- ・工事面積：4,825m²
- ・土質：礫混りシルト質砂

3. 土壤汚染状況

3.1 特定有害物質の調査概要

土壤汚染対策法の調査方法に準じて、敷地を 30m 格子

に区画（以下 30m 区画という）し、表層調査（深さ 0～5cm および 5～50cm の試料採取）により土壤調査が行われた。

特定有害物質が検出された 30m 区画を 9 分割した 10m 格子の単位区画で汚染区画の絞り込みを行った。

図-1 に、敷地および調査区画・試料採取位置図を示す。また、以下に特定有害物質の調査概要を示す。

- ・A用地
30m区画数：9区画
土壤採取地点数（単位区画）：39地点（分析：9検体）
土壤ガス採取地点数：9地点
- ・B用地
30m区画数：6区画
土壤採取地点数（単位区画）：26地点（分析：6検体）
土壤ガス採取地点数：6地点
- ・土壤分析方法
土壤溶出量は環境省告示第18号（平成15年）の方法により、土壤含有量は環境省告示第19号（平成15年）の方法により測定した。

3.2 油汚染の調査概要

3.1の特定有害物質調査のボーリング試料から、油臭から汚染範囲を決定し、油臭の強い部分の土壤試料を採取した。採取した試料のうち3検体をTPH濃度（TPH：Total Petroleum Hydrocarbon、全石油系炭化水素）で油分濃度の分析、判定が行われている。

以下に、油汚染の調査概要を示す。

- ・土壤採取地点：6地点（A用地3地点、B用地3地点）
- ・油分析地点：3地点
- ・分析試料採取深度：1m～2m

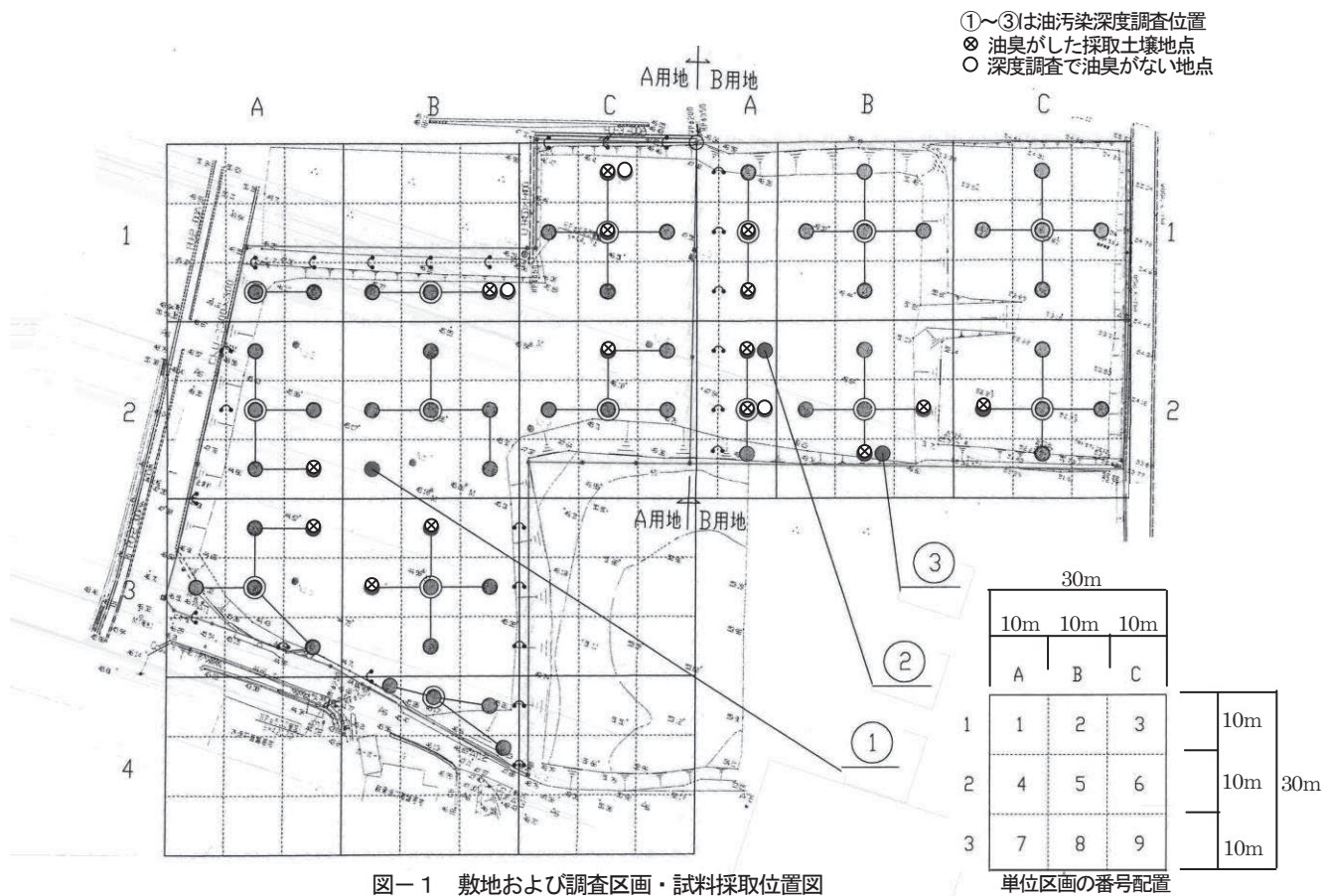


図-1 敷地および調査区画・試料採取位置図

- ・油臭, 油膜測定: 油汚染対策ガイドライン¹⁾資料4
- ・油含有量測定: 油汚染対策ガイドライン¹⁾資料6

以下のふっ素, ほう素を検出 (表-1 参照).
 土壌含有量分析: 汚染状態に関する基準値以下.

3.3 調査結果

(1) 特定有害物質

特定有害物質の調査結果を以下に示す.

・A用地

土壌ガス分析: 定量下限未満.

土壌溶出量分析: 全検体から汚染状態に関する土壌溶出量基準値以下であるが微量のふっ素, ほう素を検出 (表-1 参照).

土壌含有量分析: 汚染状態に関する土壌含有量基準値 (鉛: 150mg/kg, 砒素: 150mg/kg, ふっ素: 4,000mg/kg) 以下であるが, 全検体から鉛 (12~38mg/kg), 砒素 (1~3mg/kg), 8検体からふっ素 (50~110mg/kg) を検出.

・B用地

土壌ガス分析: A1-6, A2-6でベンゼンが検出された. 当該区画以外は定量下限未満.

第一種特定有害物質追加調査: 追加の土壌ガス調査で A1-6, A2-3を深度調査地点とし, 帯水層 (A1-6: 8.20m, A2-3: 4.2m) まで試料採取・分析し, 汚染状態に関する溶出量基準値以下であることを確認.
 土壌溶出量分析: 全検体から汚染状態に関する基準値

表-1 土壌溶出量一覧 (検出した項目のみ)

(A用地)		
検体	ふっ素	ほう素
	溶出量 (mg/L)	溶出量 (mg/L)
A1	0.4	0.06
A2	0.4	0.07
A3	0.7	0.08
B1	0.7	0.09
B2	0.7	0.07
B3	0.7	0.09
B4	0.6	0.08
C1	0.6	0.08
C2	0.5	0.08
(B用地)		
検体	ふっ素	ほう素
	溶出量 (mg/L)	溶出量 (mg/L)
A1	0.5	0.06
A2	0.3	<0.05
B1	0.2	<0.05
B2	0.7	0.06
C1	0.4	<0.05
C2	0.5	<0.05

※ 汚染状態に関する基準値: ふっ素 0.8mg/L, ほう素 1.0mg/L

(2) 油汚染

油含有量分析結果を表-2に示す。

表-2 油含有量分析結果

採取番号	油含有量 (mg/kg)	備考
①	1,100	A用地
②	1,800	B用地
③	1,400	B用地

油汚染状況を写真-1に示す。地下水部分に油膜が発生している状況が確認できる。



写真-1 油汚染状況（地下水面に油膜発生）

表-3 処理目標

処理項目	処理目標	備考
地盤改良	N値 4	発注者指定値
油汚染	含有量	100mg/kg未満 (定量下限値)
	油臭	ないこと 油汚染対策ガイドライン ¹⁾
	油膜	ないこと
ふっ素	0.1mg/L未満 (定量下限値)	

表-4 地盤改良・油汚染土対策工法比較

工法	HSS工法	微生物分解	生石灰
特色	潜在水硬性による地盤改良, 硫化物による重金属不溶化と多孔質材料での油臭油膜を吸着・消臭効果がある。	土中の微生物活性化で油の分解・浄化を行う。地盤改良材が別途必要となる。	生石灰による地盤改良, 水和発熱による油の揮発と石灰による消臭で油濃度, 臭気を低減する。
使用材料	高炉スラグ, 酸化剤等	栄養剤 (糖質)	生石灰系材料
地耐力	○	×	○
油対策	○	○	○
重金属対策	○	×	×
発熱	○	○	×
危険物	○	○	×政令の第一条の十
材料保管	×	○	×
コスト	○	×	○地盤改良が別途
工期	○	×	○浄化期間3か月以上
総合評価	○	×	△

4. 土壌処理計画

4.1 対策方針

処理項目と処理目標を表-3に示す。

4.2 対策工法の選定

掘削除去工法以外で一般的に用いられている原位置油汚染対策工法（微生物分解および生石灰による工法）と新技術のHSS (High Special Solution) 工法を、地盤改良（地耐力の確保）, 油汚染対策および重金属不溶化の面から、比較、検討した。

各工法の比較を表-4に示す。

HSS工法（使用材料：ドクトール）と生石灰による工法は、地盤改良, 油汚染対策の評価は同等であるが、重金属の低減効果に優れ、使用材料が消防法の危険物に当たらず材料の保管等の取扱いに優位性があるHSS工法を採用することとした。

4.3 HSS工法の概要

HSS工法の概要を以下に示す²⁾。

(1) 油汚染浄化原理

HSS工法で用いる土壌浄化剤（ドクトール）に含まれる特殊二酸化塩素顆粒が油を酸化分解する。特殊二酸化塩素顆粒は、水分と反応し、二酸化塩素, 次亜塩素酸等の酸化性物質を生成する。

それらが放出する活性酸素イオン (O , O_2 , OH , OOH) により酸化分解し、水と炭酸ガスに分解する。

臭気成分の硫化物, アミン類等は塩化物になることで消臭する。

(2) 材料

土壌浄化剤（ドクトール）の主成分, 主原料は以下のとおりである。

- ・主成分：シリカおよびカルシウム
- ・主原料：高炉スラグ, ペーパーセラッジ焼却灰, 特殊二酸化塩素化粒体（酸化剤）

(3) 施工方法

養生期間を設けイオン交換、吸着、固化作用を促進する。図-2にHSS工法の施工フローを、図-3に油汚染土と土壤浄化剤の混合模式図を示す。

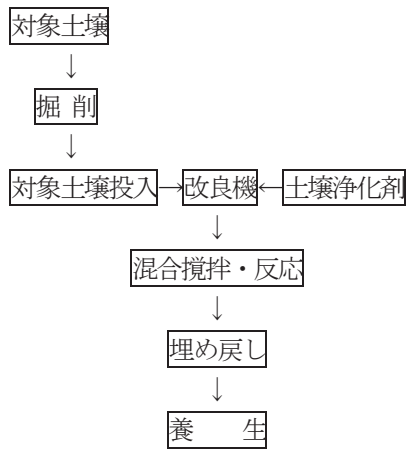


図-2 HSS工法の施工フロー

4.4 適応可能性試験

(1) 試験方法

本件敷地の油汚染土対策へのHSS工法の適用について、効果の確認および土壤浄化剤混合量の決定のために、敷地内から採取した試料を用いた適応可能性試験を行い、油臭、油膜、油含有量を測定した。

試験の手順を以下に示す。

- ①試料採取：ボーリングで採取した土壌の油臭、油膜の強い部分から試料を採取する。
- ②試料と土壤浄化剤の混合：土壤浄化剤の配合を5水準(50kg/m³, 75 kg/m³, 100 kg/m³, 125 kg/m³, 150 kg/m³)とし、検体を作成する。
- ③養生：自然状態で1日間養生する。
- ④油臭、油膜の測定：油汚染対策ガイドライン^リに準じて、油臭、油膜を測定する。
- ⑤油含有量の測定：油臭、油膜とも“なし”となる土壤浄化剤混合量の試料の油含有量(TPH)を測定する。油含有量の管理値は、臭気判定土による油臭判断の値300mg/kg³を自主判定基準値とした。

①現場発生土(改良対象土)

をバックホウにて投入する。

②自走式改良機に

改良材ドクトールを投入する。

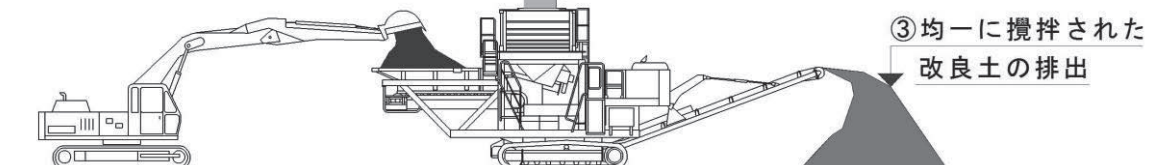


図-3 油汚染土と土壤浄化剤の混合模式図

⑥効果の検討：試験結果をまとめ、土壤浄化剤の最適配合量を決定する。

(2) 試験結果

試験結果を表-5に示す。

土壤浄化剤混合量が、50kg/m³の場合は油臭があったが、75 kg/m³以上の場合には、油臭、油膜とも“なし”であった。

油含有量の測定は、土壤浄化剤を75kg/m³混合した試料で3検体行ったが、すべて定量下限値以下であった。

表-5 適応可能性試験結果

調査項目	油臭	油膜	適否判定
原土	あり	あり	×
50kg/m ³	あり	なし	×
75kg/m ³	なし	なし	○
100kg/m ³	なし	なし	○
125kg/m ³	なし	なし	○
150kg/m ³	なし	なし	○
目標値	なし	なし	△

(4) 混合量の決定

適応可能性試験で土壤浄化剤混合量が75kg/m³以上で、油臭、油膜とも“なし”となることが確認できたが、①適応可能性試験で用いた試料を超える油汚染が存在する可能性があること、②現場混合と試験室での混合との均一性の差を考慮し、混合量は1.2倍の90kg/m³とした。

5. 現場施工結果

5.1 油汚染対策の施工

油汚染対策の施工範囲は、表層の油臭、油膜調査だけでは確定できない。また、ボーリング試料による調査も、すべての区画で実施することは経済的ではないことから、掘削施工中に、油臭が発生する平面位置、深度を確認して、油汚染対策の施工範囲を決定した。

施工概要を以下に示す。

- ・工程：平成25年10月9日～平成25年11月28日
- ・使用重機：自走式土壤改良機(コマツリテラ BZ210)、バックホウ0.8m³級3台、振動ローラー
- ・混合量：15,330m³(90～120kg/m³の配合)

- ・1日の処理量：平均438m³（地山），最大685m³（地山）
- ・材料保管：シート養生
- ・粉塵対策：民家前にネット養生を実施，改良土排出口付近で散水，材料投入時飛散防止カバーを設置
- ・安全対策：近接作業とならないよう機械を配置

5.2 施工後の確認試験

施工単位ごとに油汚染対策ガイドライン¹⁾に基づきシャーレー法（写真－2）で油臭，油膜を測定した。また，改良後の土壌を概ね100m³以内で採取し，油含有量（TPH）の試験を行った。さらに，自主管理として，5,000m³に1回（合計3回），土壌汚染対策法に定める特定有害物質全項目の試験を行った。

これらの試験の結果，油臭，油膜とも“なし”であり，油含有量はすべての試験値で自主判定基準値（300ppm）を下回っており，特定有害物質も，すべての項目で基準値を下回っていた。



写真－2 処理土の油分確認（油膜確認状況）

また，3箇所標準貫入試験を実施した結果，発注者の指定する基準値（N値4以上）をすべての箇所を上回っていた。

6. まとめ

工場跡地の油汚染土対策にHSS工法を採用した結果，

- 1) 酸化剤の油分解による油臭，油膜の除去。
- 2) 重金属の不溶化。
- 3) 高炉スラグによる地盤改良効果。

の対策効果が確認できた。

土壌の油含有量が1,000mg/kg程度の低濃度の油汚染土対策において，経済的な対策工法であるHSS工法の適用性を確認することができた。

本報告が，今後の油汚染土対策工事の参考となれば幸いである。

謝辞：本工事に実施にあたっては，HSS株式会社 代表取締役 竹中照明様のご助言，ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) （財）土壤環境センター：環境省の油汚染対策ガイドライン，2006。
- 2) HSS株式会社：HSS工法ドクトール施工マニュアル（第22版），2012。
- 3) （社）石油協会：油漏洩土壌の評価方式に関する調査報告書，2006.3。

Summary As it was confirmed that a building site developed on a former site of an auto garage was contaminated with oil, oil-contaminated site cleaning technologies were checked for selection. As a result, the HSS method was adopted because it was superior to the other methods in terms of heavy metal precipitation, cost and construction period.

Post-construction verification tests confirmed that neither odor nor slick of oil was detected, that oil content and the concentration of specified toxic substance were below standards and that the soil performance of an N-value of 4 or higher as designated by the owner was achieved.

Dissolution of fluorine and boron below environmental quality standards for soil was detected at the site. As a result of soil cleaning using the HSS method, the mean of detected dissolution of fluorine was 40% or less and the dissolution of boron was the determination limit or less.

This paper describes the process of selecting the oil-contaminated soil cleaning method, method of implementation of a selected method and the effects of the method.

Key Words : HSS method of construction, ground improvement, mineral oil, oil pollution, factory ruins

